

体の水分を測定する

— 理論に基づいた機器の開発 —

○森尾 浩一¹, 定本 清美^{2,3,4}, 浦 裕之², 久保田 清^{4,2}, 森尾 裕志^{2,4}

(1. シグマ光機(株), 2. 湘南医療大学, 3. さだもとクリニック, 4. (一社)メクシオン)

Measure body hydration:

-Development of a device based on theory-

○Kouichi MORIO¹, Kiyomi SADAMOTO^{2,3,4}, Hiroyuki URA², Kiyoshi KUBOTA^{4,2}, Yuji MORIO^{2,4}

(1. SIGMA-KOKI CO.,LTD, 2. Shonan University of Medical Sciences,

3. Sadamoto Clinic, 4. MECSION)

1. はじめに

成人男性の身体は約60%が水分で構成されているとされている。体重の2%の水分を失うと喉の渇きを感じ、運動能力が低下する。さらに4%以上の水分を失うと脱水症状が現れ、10%を超えると生命の危険が生じる可能性がある¹⁾。

脱水の原因には、暑熱環境や運動、発熱による過度な発汗、水分摂取不足、利尿薬の投与、嘔吐や下痢、過度な下剤使用などが挙げられる。特に高齢者では、喉の渇きを感じにくい性質、保水機能を担う筋肉量の減少、腎機能の低下、トイレへの忌避感から水分摂取を控える傾向、さらには扇風機やエアコンの使用を嫌がることなどが重なり、脱水のリスクが高い。

日本政府も増え続ける熱中症死亡者数を半減させるべく、改正気候変動適応法の施行などにより、熱中症警戒アラートの発表や、クーリングスポットの設置といった対策を進めている²⁾。

一方、脱水の評価は難しく、臨床判断において普遍的なゴールドスタンダードは存在しない³⁾。訪問看護や介護の現場では、ツルゴール反応、尿量、唇の乾燥、飲水量の聞き取り、被介護者の雰囲気など、主観的かつ個人差のある指標に基づいて判断されているのが現状である。このような曖昧な判断からは、当然ながら曖昧な対応しかできていない現実がある。また、他者への伝達や推移の記録、本人の自覚促進といった点でも課題がある。

これらの背景から、訪問看護・介護現場では、体水分の状態を簡便に数値化できるデバイスの必要性が高まっていた。この要求に応えるべく、光を用いた小型の体水分計を開発したので、報告する。

2. 体水分計の開発

我々は、光電容積脈波(PPG:Photoplethysmogram)

を用いることで血漿と赤血球の比率を検出することで体内の水分率を評価できると考えた。赤血球は赤色光や近赤外光に対して強い吸光特性を示し、血漿の主成分である水は近赤外域に吸収特性を持つ。このことから、赤色光と近赤外光の2波長を用いることで、赤血球に対する血漿の割合を算出し、体水分の程度を間接的に評価できると考えた。

PPGは、脈拍による光量の変化を検出することで、血管内の血液に由来する情報を取得する。PPGセンサの構成を図1に示す。赤色光(RED)と近赤外光(IR)を、蛍光灯等の周波数よりも高い周波数で交互に指先へ照射し、透過光量を光検出器で測定した。

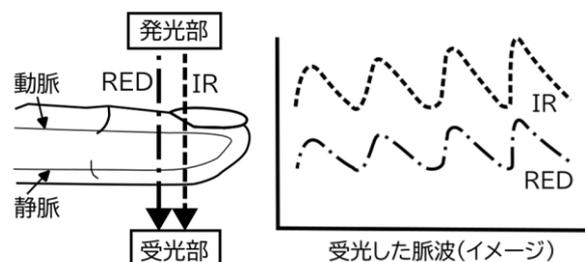


図1 光電容積脈波の検出

指には血液以外に皮膚の色や指の太さ等、透過光量を変化させる要素が複数ある。そこで、検出した赤色光の交流成分(REDac)と直流成分(REDdc)、同様に赤外光の交流成分(IRac)と直流成分(IRdc)とに分けると、血液に含まれる血漿の比率すなわち体水分率Rhbは以下で表される。

$$Rhb = \frac{\frac{IRac}{IRdc}}{\frac{REDac}{REDdc}} \quad \dots(1)$$

(1)式は、AC成分をDC成分で除算することで、皮膚や指の個体差を打ち消し、脈波成分を正規化している。また、IRをREDで除算することで、血漿量が増えるとIRの透過光の変化が増加し、Rhbの値が高くなる。

なることを示している。Rhbは血管内の血漿量に比例して変動し、皮膚等の個体差に左右されない。

この原理はパルスオキシメータと同様であり、既存技術の延長として実装できる点からも工業化に適している。

なお、使用する波長の選定は重要であり、パルスオキシメータで一般的に用いられている660 nmと940 nmの組み合わせでは、体水分率の変化に対する感度はほぼ無い。我々は予備実験により、体水分率の変化に対応する波長の選定を行った。サウナやランニングなどにより意図的に体水分を減らし、体重減少とRhbの変化を比較検証した結果、水に対する吸光度が高い970 nmと、水に対する吸光度が低く赤血球に対して比較的安定な730 nmを用いることで、Rhbと体水分率に高い相関性があることを発見した。

この2つの波長を用いたPPG測定装置を体水分計の試作品として開発し、フィールドでの検証実験を実施した。体水分計の外観図を図2に示す。



図2 体水分計 外観

3. フィールド検証

2024年夏季、神奈川県大和市を中心とした訪問介護・看護の現場にて、関係者の多大なご協力のもと、体水分計試作機のフィールド検証を実施した。訪問看護・介護ステーション10カ所に試作機計22台を配布し、現場での実使用と測定結果を倫理的配慮のもと、記録して頂いた。

測定総回数は485回であり、そのうち17例で飲水前後の測定が行われた。結果を図3に示す。17例中14例において飲水後に体水分率の改善が確認された。これは、飲水による体水分の回復が体水分計によって定量的に把握可能であることを示唆している。

一方で、改善が見られなかった、もしくは正確な測定が出来ていなかった例も存在し、今後の改良に向けた検討課題である。

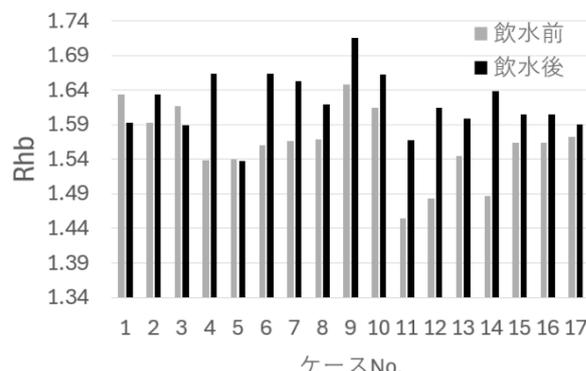


図3 フィールド検証での飲水前後の結果

4. おわりに

フィールド検証を通じて、現場からさまざまな意見が寄せられた。体水分率が数値として可視化される点は高い評価を得た。一方で使用感に関する率直な指摘も頂いた。これらをもとに改良を加え、現場でより使いやすい量産機の実現を目指している。

今回開発した体水分計は、体水分率を手軽に数値で表示できるため、本人または周囲が体水分不足を即座に把握し、その場で飲水による対応が可能となる。結果として、体水分不足が原因となる疾病を未然に防ぐ「未病対策」としての活用が期待できる。

また、本体水分計は、介護・看護分野に限らず、高齢者の健康管理、スポーツ現場、猛暑下の作業現場、浴場、クーリングスポットなど、幅広い用途が想定される。これら使用機会により、体水分への意識向上がなされ、結果増え続ける熱中症死亡者が一人でも少なくなることを切に願う。

文献

- 1) 森本武利. “もしも身体の水分がなくなったら. 大塚製薬”. <https://www.otsuka.co.jp/nutraceutical/about/rehydration/water/dehydration-signs/> (参照 2025-4-7)
- 2) 総務省. “気候変動適応法”. 総務省. <https://law.s.e-gov.go.jp/law/430AC0000000050> (参照 2025-4-7)
- 3) Armstrong, LE. Assessing Hydration Status: The Elusive Gold Standard. *Journal of the American College of Nutrition*. 2007, 26(sup5), p. 575S-84S. <https://doi.org/10.1080/07315724.2007.10719661>